

# SPREMENLJIVOST POGOSTOSTI NEVIHT IN TOČE V OBDOBJU 1961–2004

## Variability of Frequency of Storms and Hailstorms in the Period 1961-2004

Mojca Dolinar\* UDK 551.578(497.4)“1961/2004”

Povzetek Abstract

Toča, ki poleti pogosto spremlja močne nevihte, povzroči mnogo škode na objektih, v kmetijstvu in gozdarstvu. Posebej nevarno je vegetacijsko obdobje, ko so rastline v obdobju intenzivne rasti in razvoja plodov, v tem obdobju pa ima toča tudi največ kinetične energije. Predstavljena je analiza spremenljivosti pojavljanja neviht in toče v vegetacijskem obdobju od maja do septembra za obdobje sistematičnih opazovanj po vsej Sloveniji (1961–2004). Prostorsko homogeno upadanje pogostosti neviht v vegetacijskem obdobju smo ugotovili na Primorskem in Dolenjskem z Belo krajino, v Prekmurju in na Goriškem pogostost neviht v vegetacijskem obdobju narašča. Drugod po Sloveniji se gibanje naraščanja in upadanja neviht v prostoru zelo hitro spreminja, tako da ne moremo govoriti o homogenih prostorskih enotah s skupno značilnostjo pri pojavljanju neviht. Skladno z manjšim pojavljanjem neviht je v vegetacijskem obdobju manj toče na Obali in v Beli krajini, v zadnjem obdobju je opaziti manj toče tudi v nekaterih predelih Štajerske in na južnem robu Julijskih Alp. V vegetacijskem obdobju je toča pogostejša v Goriških brdih, v osrednji Sloveniji z Bloško planoto, na delu Karavank in v nekaterih predelih severne Štajerske.

Severe storms with hail can cause major damage to a crop, especially in the vegetational period, when the kinetic energy of hail particles is the largest. A spatial and temporal analysis of storm and hail frequency in the vegetational period was performed to find the temporal variability and trends in the observational period 1961-2004. The time series of 44 years was long enough to detect significant changes in storm and hail occurrence all over Slovenia. Temporal trends were calculated at observation points. Additionally, the long-term spatial distribution of hail frequency in the last 14 years was compared to that of the reference period 1961-1990 (Figure 2). A spatially homogeneous decrease of storm frequency was detected in Primorska, Dolenjska and Bela krajina (Figure 2). On the other hand, storm frequency had increased in Prekmurje and Goričko. In other parts of the country, there is no uniform trend in storm frequency for larger areas. In parallel with a storm decrease, the frequency of hail had decreased in the coastal region and in Bela krajina (Figure 7). In the last 14 years less hail was also observed in parts of Štajerska and at the southern edge of the Julian Alps. A positive trend in hail frequency was observed in Goriška brda, in the central part of Slovenia with Bloška planota, in a small part of the Karavanke and in some parts of Štajerska.

## Uvod

Toča je vezana na pojav neviht, zato moramo ob analizi toče hkrati obravnavati tudi nevihte. Pri tem se moramo zavedati omejitve opazovanj teh dveh pojavov. Do zdaj smo na Uradu za meteorologijo točo in nevihte le opazovali in beležili njihovo pogostost, saj do uvajanja daljinskega zaznavanja (radarske in satelitske meritve ter meritve razelektrove) ni bilo objektivne metode za zaznavanje teh dveh pojavov. Posebnost pojavov neviht in toče je njihova lokalna omejenost. Poletne vročinske nevihte so lahko omejene na zelo majhno območje (nekaj km<sup>2</sup>), toča pa je še bolj lokalna

pojav. Kljub gosti mreži padavinskih postaj, kjer ta dva pojava opazujemo, jih večkrat zaradi njune lokalne omejenosti ne zaznamo. Pri toči se to zgodi še pogosteje kot pri nevihtah. Pri opazovanju neviht pa moramo upoštevati še en dejavnik, to je subjektivna ocena opazovalca. Kljub zelo natančnim navodilom za opazovanje je prag za opazovanje nevihte močno odvisen od opazovalca, njegove vestnosti ter hrupa v okolici opazovalne točke, zato so ta opazovanja krajevno med seboj neprimerljiva.

V Sloveniji so nevihte precej pogost pojav. Petkovšek (1987) ugotavlja, da se iz Furlanije čez Slovenijo na avstrijsko Koroško in Štajersko razteza pas, kjer so zelo pogoste močne nevihte. Ocenjuje, da imamo v tem pasu okrog 50 nevihtnih dni letno, pri čemer več kot dve tretjini

\* Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Vojkova 1 b, Ljubljana, m.dolinar@gov.si

nevihtnih dni padeta v poletni čas. Velika pogostost neviht pri nas je po eni strani posledica vremenskih sistemov v sinoptični skali, hkrati pa na veliko pogostost neviht vplivajo tudi mikrolokacijske značilnosti, predvsem orografija.

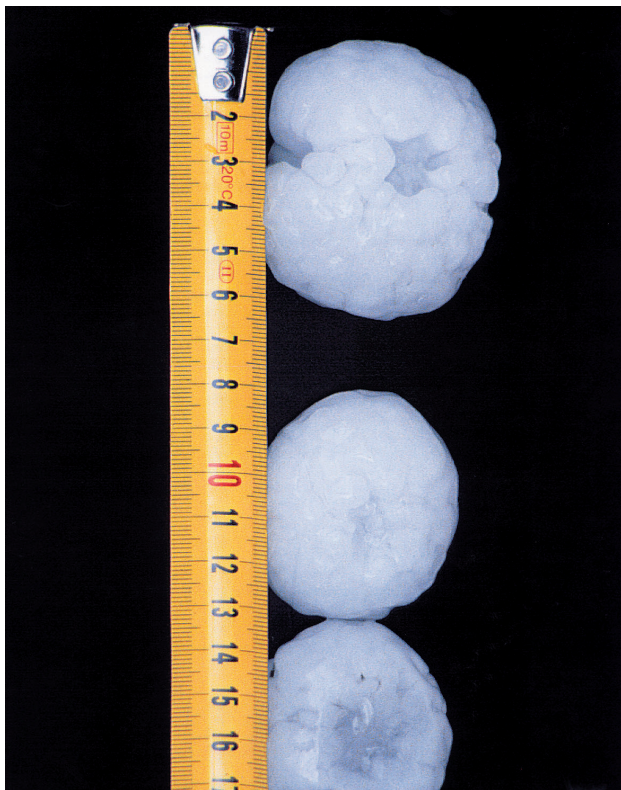
Najpomembnejši pogoj za nastanek neviht je dotok relativno toplega in vlažnega zraka pri tleh, pri čemer imamo v višinah hladen zrak, kar naredi ozračje močno nestabilno. Hkrati mora biti prisotno tudi vetrovno striženje po višini. Take pogoje imamo nad Slovenijo običajno pred hladno fronto, ob njej in po njenem prehodu. Na jakost in pogostost neviht vpliva še močno razgiban relief, ki je ovira za dotekajoči zrak, poleg tega se zaradi različne nagnjenosti in orientacije v poletnem času zrak nad takim območjem različno ogreva in ozračje postane nestabilno.

Toča je oblika padavine, ki nastaja v nevihtnih oblakih (kumulunimbusih). Za nastanek toče morajo biti v oblakih izpolnjeni posebni pogoji. Najpomembnejša pogoja sta, da je temperatura dela oblaka, kjer nastaja toča, nižja od 0 °C in da je ta oblak bogat s podhlajeno tekočo vodo v obliki kapljic. Podhlajene vodne kapljice ob trkih primrzujejo na večje ali manjše zemetke toče. V nekaterih primerih je oblak tako vodnat, da vse kapljice ne morejo zmrzovati dovolj hitro in zrno toče le oblijejo. Ko jih močan vzgonski tok, ki je značilen za nevihtne oblake, zanese v višje, hladnejše dele oblaka, ta vodena obloga zamrzne in nastane trd gost

prozoren led. V izrazitem nevihtnem oblaku z zelo močnimi vzgorniki se opisana pot zrna običajno ponovi večkrat in zrno na ta način raste, dokler ni tako težko, da ga tudi močni vzgorniki ne morejo več zadržati v oblaku. Ob vsaki ponovitvi se na zrnu oblikuje nova plast ledu in na ta način lahko zrastejo zrna s premerom več centimetrov (slika 1). Hitrosti padanja zrna toče so lahko precej velike. Škoda, ki jo toča povzroči na tleh, je sorazmerna masi in kvadratu hitrosti zrna. Manjša zrna toče tako povzročijo občutno manj škode kot večja in težka zrna. Velikost zrna je odvisna od števila kondenzacijskih jeder v oblaku: manj je jeder, več tekoče vode se ujame in zmrzne na posameznem jedru, večje lahko zraste zrno. Seveda število kondenzacijskih jeder ni edini dejavnik, ki vpliva na velikost toče. Izjemno so pomembne preostale razmere v nevihtnem oblaku, predvsem hitrost vzgonskega vetra, vertikalni temperaturni profil v oblaku, vertikalna porazdelitev tekoče vode v oblaku in vertikalni vetrovni profil v oblaku.

## Nevihte v Sloveniji

Za analizo nevihtnih dni v Sloveniji smo uporabili podatke iz digitalnega arhiva ARSO. Poleg opazovanj pogostosti neviht, ki so obremenjena s subjektivno napako opazovalca, smo kot merilo za pogostost neviht uporabili tudi druge, objektivno merjene spremenljivke. Značilnost neviht so obilne padavine, zato smo za oceno pogostosti neviht analizirali tudi dogodke z močnimi nalivi: število dni s 5-minutnimi padavinami nad 5 mm, število dni s 15-minutnimi padavinami nad 10 mm in število dni s 30-minutnimi padavinami nad 12 mm.



Slika 1. Primer izredno velikih zrn toče, kjer je dobro vidna njihova struktura (foto: Barbara Rakovec, Mesečni bilten ARSO, VIII/5, maj 2001).

Figure 1. Hailstones with a diameter that exceeded 5 cm. The ununiform structure of the grains is clearly evident (photo: Barbara Rakovec, Mesečni bilten ARSO, VIII/5, maj 2001).

Postaja	Nevihte	5-min. padavine	15-min. padavine	30-min. padavine	Toča
Bilje	25,3	9,7	7,7	9,2	0,8
Celje	33,7	3,3	2,2	3,0	1,1
Črnomelj	30,2	3,2	2,4	3,2	0,8
Ljubljana	38,5	4,5	3,5	4,5	1,7
Maribor	32,2	2,9	2,1	2,7	1,1
Murska Sobota	26,9	3,0	1,9	2,4	1,0
Novo mesto	38,1	3,6	3,0	3,3	1,7
Postojna	25,4	3,9	3,0	4,4	1,2
Rateče	28,6	1,3	1,4	2,1	0,4
Slovenj Gradec	37,1	2,8	2,3	3,0	1,7

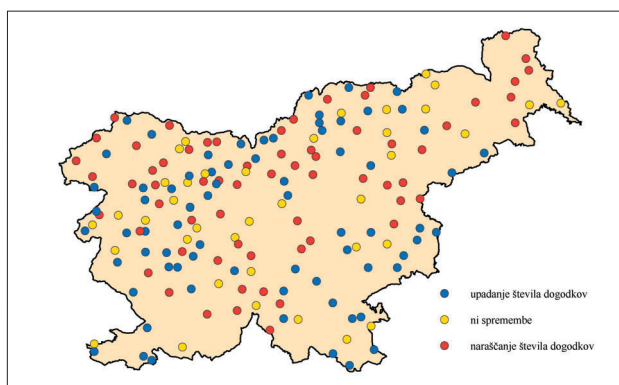
Preglednica 1. Dolgoletno (1961–2004) povprečje pogostosti neviht, 5-minutnih padavin nad 5 mm, 15-minutnih padavin nad 10 mm, 30-minutnih padavin nad 12 mm in toče v vegetacijskem obdobju

Table 1. Long-term (1961–2004) average frequency of storms, 5-minute precipitation above 5 mm, 15-minute precipitation above 10 mm, 30-minute precipitation above 12 mm and hail in the vegetational period

## Pogostost neviht v Sloveniji

V preglednici 1 so za nekatere kraje po Sloveniji zbrane povprečne vrednosti pojavljanja neviht v obdobju 1961–2004. V vegetacijskem obdobju od maja do septembra so na vseh postajah v povprečju zabeležili več kot 20 neviht. Največ jih je bilo v Ljubljani in Novem mestu, najmanj v Kočevju.

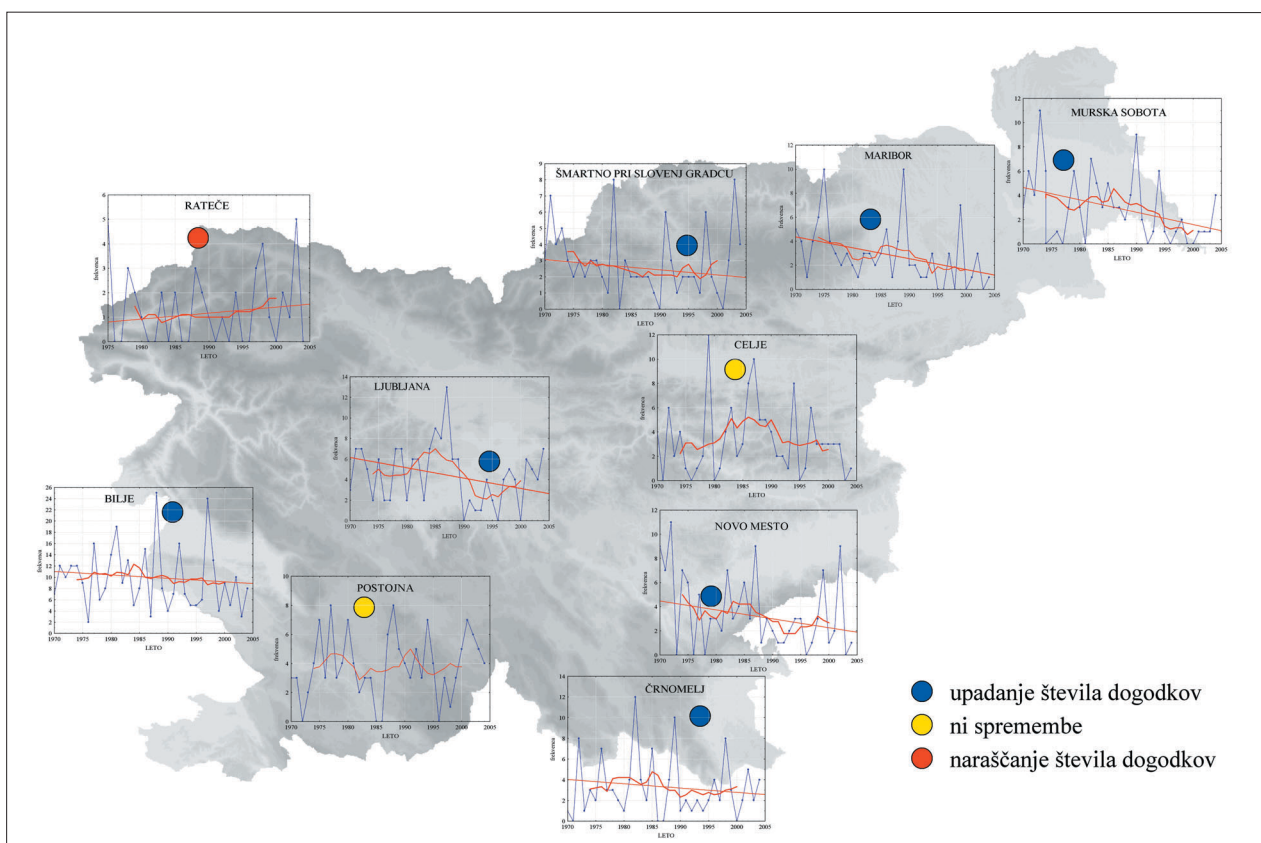
Na ombrografskih meteoroloških postajah poleg dnevne vsote padavin merijo tudi padavine v krajših časovnih intervalih, najkrajši interval je 5 minut. Za plohe in nevihte so značilni kratki in zelo močni nalivi, zato lahko na podlagi ombrografskih meritev ocenimo spremenljivost pogostosti ploh in neviht. Pogostost kratkotrajnih nalivov nad določeno mejo je bila naša ocena za pogostost ploh in neviht. Analizirali smo ekstremne 5-minutne, 15-minutne in 30-minutne nalive. Kot mejno vrednost, nad katero smo naliv ocenili kot ekstremen, smo vzeli povprečno jakost naliva s povratno dobo 1 leto. Ta jakost se regionalno sicer spreminja, kljub temu pa smo za vso državo vzeli enotno mejo, tako da so rezultati med sabo primerljivi. Za 5-minuten naliv je bila mejna vrednost 5 mm, za 15-minuten naliv 10 mm in za 30-minuten naliv 12 mm. Najpogostejši so nalivi v Biljah, po vseh preostalih regijah v Sloveniji so nalivi bistveno manj pogosti. Tako se 5-minutni nalivi z več kot 5 mm v Biljah v povprečju pojavljajo več kot 9-krat v vegetacijskem obdobju, medtem ko je povsod drugje pogostost tako močnih



Slika 2. Prostorska porazdelitev statistično značilnih trendov za pogostost neviht v vegetacijskem obdobju (maj–september) na merilnih postajah, ki so v obdobju 1961–2004 neprekinjeno delovale vsaj 40 let.

Figure 2. Spatial distribution of statistically significant trends in storm frequency in the vegetational period (May–September). Trends were calculated for the observation points with a homogeneous time series in the period 1961–2004.

nalivov manjša kot 5/leto (preglednica 1). Zelo podobna prostorska slika pogostosti velja tudi za 15-minutne in 30-minutne nalive (preglednica 1).



Slika 3. Statistično značilni trendi za pogostost 5-minutnih nalivov nad 5 mm v vegetacijskem obdobju med majem in septembrom (obdobje analize 1970–2004)

Figure 3. Statistically significant trends for the frequency of 5-minute showers exceeding 5 mm in the vegetational period (May–September). Trends were calculated for the period 1961–2004

## Spremenljivost pogostosti neviht v Sloveniji

Kljub relativno veliki subjektivni napaki opazovanj je sezonska pogostost neviht primerna za ocenjevanje trenda (slika 2). Trende smo namreč računali na časovni vrsti v točki, za kar pa je pomembna le časovna homogenost. Za njihovo oceno smo uporabili postaje, na katerih ni bilo opaziti večjih časovnih nehomogenosti. Obravnavali smo pogostost neviht v vegetacijskem obdobju, od maja do septembra. Izračunani so bili na 175 postajah s homogenimi nizi, ki so neprekinjeno delovale vsaj 40 let v obdobju 1961–2004.

Prostorsko homogeno naraščanje števila neviht v vegetacijskem obdobju je opaziti v Prekmurju, Goričkem, v Slovenskih goricah in na Kozjanskem. Homogeno upadanje pogostosti neviht je opaziti na Dolenjskem, v Beli krajini in na Primorskem. Drugod po Sloveniji ni značilnega reda v spreminjanju pogostosti neviht, negativni in pozitivni trendi so lahko zelo blizu skupaj. Le v gorskem svetu je opaziti, da prevladuje naraščanje števila neviht v vegetacijskem obdobju, vendar tudi tu območja niso homogena.

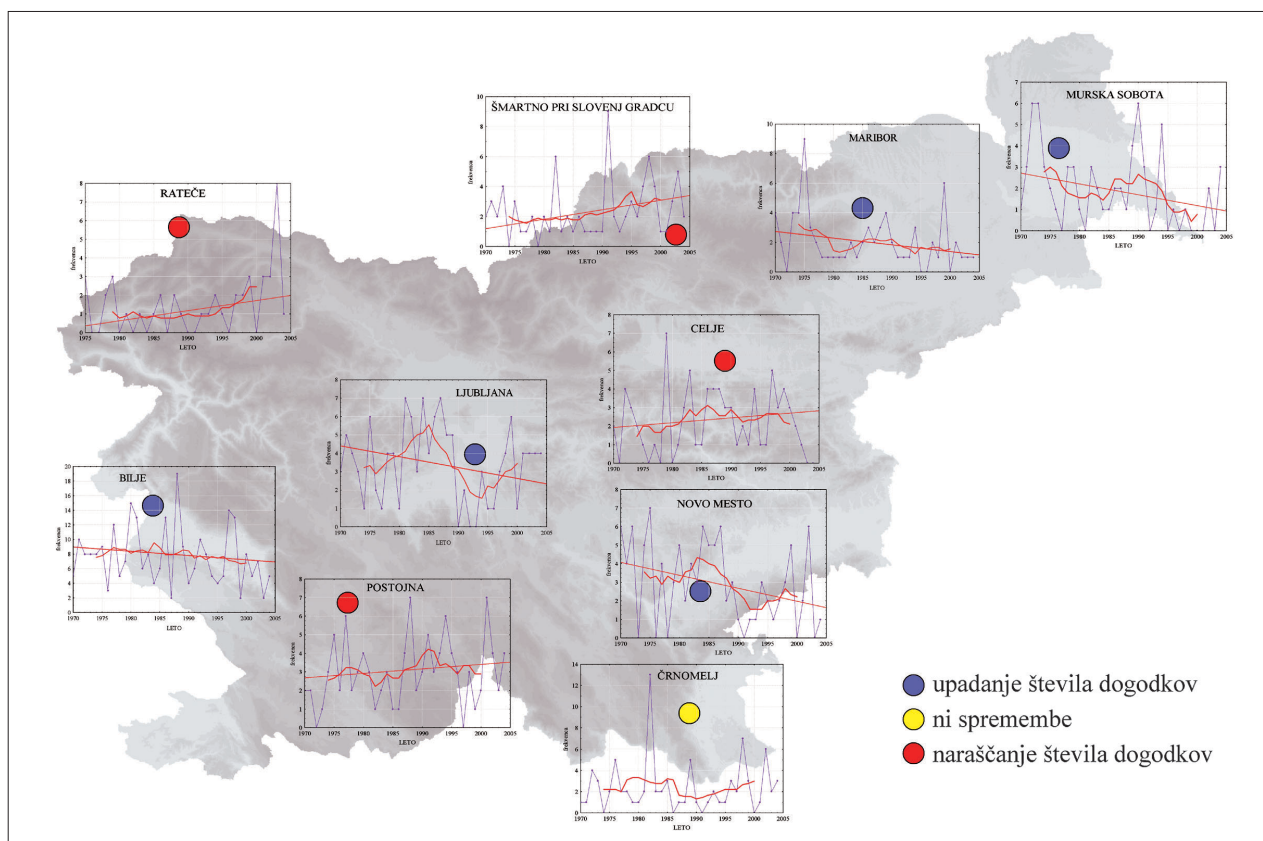
Trende nalivov smo analizirali za vse postaje z daljšim nizom ombrografskih meritev. Dolžina nizov med postajami se razlikuje, zato smo zaradi primerljivosti rezultatov vzeli

enotno obdobje, ko so delovale vse postaje z daljšimi nizi, to je obdobje 1970–2004. Analizirali smo nalive v vegetacijskem obdobju med majem in septembrom.

Pogostost močnih kratkotrajnih (5-minutnih) nalivov skoraj po vsej državi upada (slika 3). Edino v regiji z najmanjšo pogostostjo močnih 5-minutnih nalivov (Ratečah) je zaznati trend rasti. V Celju in Postojni ni opaziti statistično značilnega spreminjanja pogostosti kratkotrajnih 5-minutnih nalivov.

Ob nekoliko daljših (15-minutnih) nalivih so razmere že nekoliko drugačne. Pogostost takih nalivov se večja v Ratečah, Slovenj Gradcu, Celju in Postojni, manjša se v Biljah, Ljubljani, Novem mestu, Mariboru in Murski Soboti, medtem ko v Črnomlju značilnih sprememb ni opaziti (slika 4). Podobno velja tudi za dolgotrajne (30-minutne) nalive (slika 5). Pozitivni trendi so značilni za iste regije kot pri 15-minutnih nalivih, medtem ko so negativni trendi značilni za Črnomelj, Novo mesto in Maribor. Značilnih trendov ni opaziti v Biljah, Ljubljani in Murski Soboti.

Če strnemo sliko za vse časovne intervale nalivov, ugotovimo, da ni prostorsko enotnih regij z značilnim vzorcem spreminjanja pogostosti nalivov. Za Rateče, Postojno in Celje lahko rečemo, da se pogostost močnih nalivov večja, v preostalih krajih, razen Šmartnega pri Slovenj Gradcu, pa lahko govorimo o upadanju števila



Slika 4. Statistično značilni trendi za pogostost 15-minutnih nalivov nad 10 mm v vegetacijskem obdobju med majem in septembrom (obdobje analize 1970–2004)

Figure 4. Statistically significant trends for the frequency of 15-minutes showers exceeding 10 mm in the vegetational period (May-September). Trends were calculated for the period 1961-2004

močnih nalivov. Šmartno je edini kraj, kjer smo za različno trajanje nalivov dobili nasprotno trende: število kratkotrajnih nalivov se zmanjšuje, medtem ko se število 15-minutnih in 30-minutnih nalivov večja.

da ga ne moremo obravnavati ločeno. Je pa Rakovec s sodelavci (1988) pokazal, da je v vegetacijskem obdobju od maja do septembra sodre zanemarljivo malo in da se večina zabeleženih pojavov v tem času nanaša na točo.

## Toča v Sloveniji

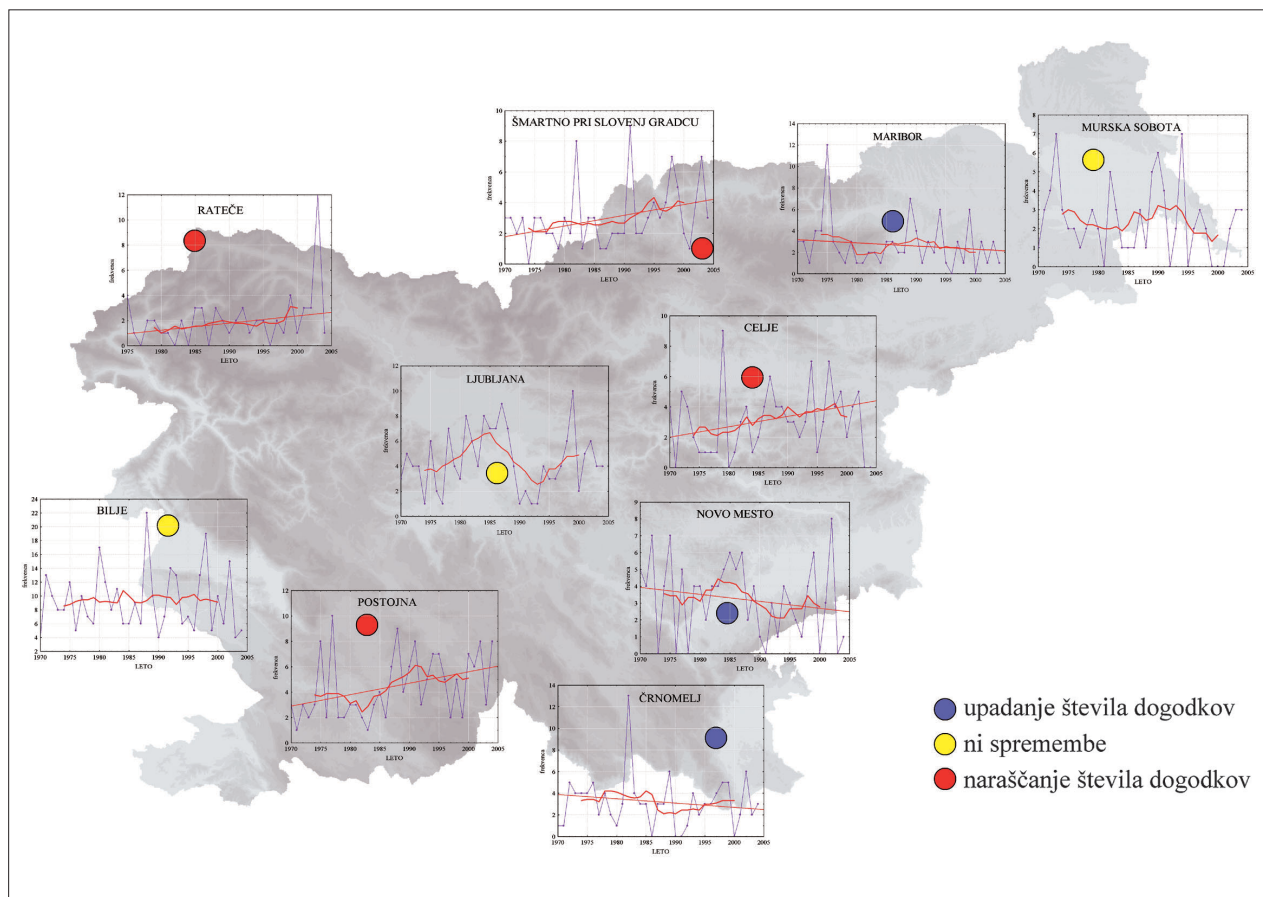
Za analizo števila dni s točo v Sloveniji smo uporabili podatke iz digitalnega arhiva ARSO. Na voljo smo imeli le opazovanja toče in sodre na padavinskih postajah. Sistematično smo obdelali podatke od leta 1961. Za obdelavo smo izbrali le tiste padavinske postaje, na katerih so opazovanja potekala brez prekinitev v celotnem obdobju od leta 1961 do leta 2004.

Kot je omenjeno že v uvodu, so opazovanja toče in sodre omejena na zelo ozko območje in je zato toča lokalni pojav. Opazovanja toče so tako omejena na polmer nekaj 100 metrov okoli točke opazovanja, zato moramo pogostost toče razumeti v tem smislu. Tako se zdi povprečna pogostost toče 1-krat v letu zelo nizka, vendar se moramo zavedati, da je tako pogosta toča na ozkem območju nekaj 10 000 m<sup>2</sup>. Če bi gledali širše območje, bi se pogostost zelo povečala (Rakovec et al. 1988). Pojav toče in sodre je opazovan in arhiviran skupaj, tako

## Pogostost toče v Sloveniji

V preglednici 1 je za nekatere postaje po Sloveniji podano dolgoletno povprečje pogostosti toče v vegetacijskem obdobju. Prostorska porazdelitev števila dni s točo je predstavljena na sliki 6. Vrednosti na karti pomenijo povprečno število dni s točo na območju s polmerom nekaj 100 m. Za izdelavo karte pogostosti toče smo uporabili podatke tistih postaj, za katere je bilo iz metapodatkov razvidno, da ni večjih časovnih nehomogenosti v nizu.

Toča in sodra sta najpogostejši v gorskem in hribovitem svetu, kjer je tudi v vegetacijskem obdobju pogostejša sodra (Rakovec et al. 1988). V nižjem svetu je toča pogostejša v predgorju (1- do 2-krat letno), medtem ko je v povprečju najmanj toče na večjih ravninah (Vipavska dolina, zahodni del Ljubljanske kotline, Celjska kotlina, Bela krajina, Krško-Brežiško polje in Pomurje) in na Obali.



Slika 5. Statistično značilni trendi za pogostost 30-minutnih nalivov nad 12 mm v vegetacijskem obdobju med majem in septembrom (obdobje analize 1970–2004)

Figure 5. Statistically significant trends for the frequency of 30-minutes showers exceeding 12 mm in the vegetational period (May-September). Trends were calculated for the period 1961-2004

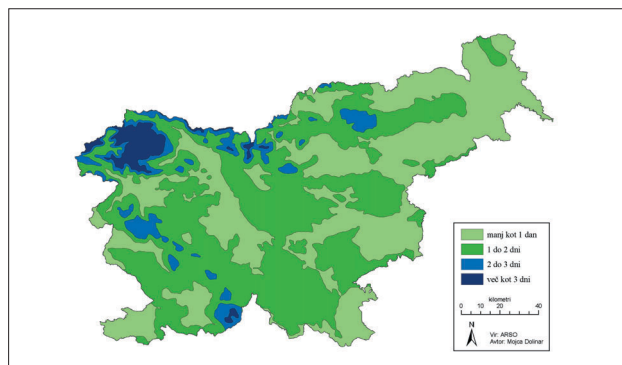
## Spremenljivost pogostosti toče v Sloveniji

Za analizo spremenljivosti pogostosti toče v vegetacijskem obdobju smo iskali trende na časovnih vrstah v točkah, hkrati pa smo analizirali tudi razliko med prostorsko porazdelitvijo povprečja zadnjih 14 let (1991–2004) od povprečne pogostosti toče v referenčnem obdobju 1961–1990. Trende smo računali na časovni vrsti v točki, za kar je pomembna časovna homogenost. Za njihovo oceno smo uporabili postaje, pri katerih ni bilo opaziti večjih časovnih nehomogenosti. Tako kot v preostalih primerih smo obravnavali pogostost toče in sodre v vegetacijskem obdobju, od maja do septembra.

Trendi in odstopanja v prostorski porazdelitvi med obdobjema 1961–1990 in 1991–2004 se ujemajo (slika 7), kar kaže na zanesljivost rezultatov. Homogena območja naraščanja števila dogodkov s točo opazimo na Goriškem, na Notranjskem v pasu južno od Ljubljane, v delu Karavank in zelo ozkem območju na Kozjaku. Pogostost toče pa se zmanjšuje v južnem predelu Julijskih Alp, na precej širokem območju Štajerske in Prekmurja in v Beli krajini in okolici. Na nekaterih območjih, predvsem v zelo razgibanem reliefu, se trendi lahko že na manjši razdalji obrnejo.

## Sklepne misli

Če povzamemo celotno časovno prostorsko sliko spremenljivosti neviht in toče v zadnjem obdobju, ne najdemo prostorsko homogenih zakonitosti za večja enotna območja v državi. Pogostost ekstremnih padavin (od 30-minutnih do 5-minutnih) na nekaterih območjih narašča, na drugih pada. Enako velja za točo, vendar se območja z naraščanjem ali padanjem pogostosti ekstremnih padavin le redko ujemajo z območji naraščanja oziroma upadanja pogostosti toče. Edino homogeno območje, na katerem smo opazili upadanje kratkotrajnih in dolgotrajnih nalivov, upadanje pogostosti neviht in upadanje pogostosti toče,

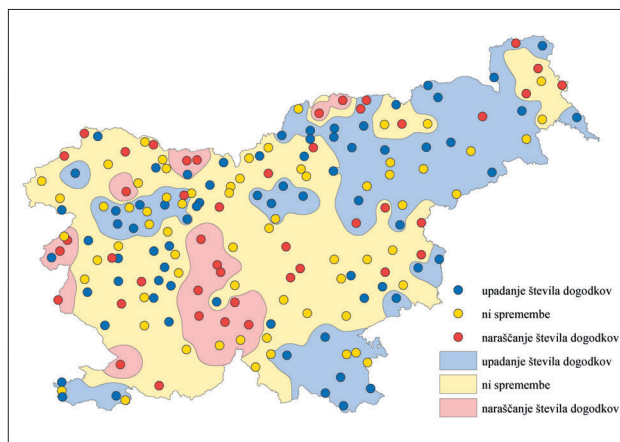


Slika 6. Prostorska porazdelitev povprečnega števila dni s točo in sodro v vegetacijskem obdobju (maj–september) za obdobje 1961–2004

Figure 6. Spatial distribution of average hail frequency in the vegetational period (May–September) in the period 1961–2004

je Bela krajina. Za to območje zanesljivo lahko rečemo, da se pogostost neviht z močnimi nalivi zmanjšuje, posledično je tudi toča manj pogosta. Drugo precej homogeno območje, na katerem so trendi časovne spremenljivosti precej enotni, je vzhodni del Notranjske z Rakitno in Blokami. Za to območje večina podnebnih kazalnikov kaže pozitiven trend v pogostosti neviht z močnimi nalivi in točo. Na preostalih območjih je prostorska spremenljivost trendov tako velika, da ne moremo govoriti o enotnih zakonitostih za sklenjeno območje. Posebej lahko omenimo le Julijske Alpe in Karavanke, kjer je pozitiven trend v pogostosti neviht in nalivov, ni pa opaziti enotnega značilnega trenda za pogostost toče.

Ker nas je zanimala prostorska in časovna spremenljivost nevihtnih dni, smo želeli v analizo vključiti čim daljše nize iz različnih virov. Arhiv radarskih meritev je zelo kratek in nehomogen (zaradi dveh različnih radarjev), arhiv razelektritev pa občutno prekratek (podatki se sistematično zbirajo od leta 2000 dalje), zato smo za našo analizo uporabili le opazovanja neviht na padavinskih postajah. Pričakujemo, da bomo sčasoma prostorsko analizo neviht in toče lahko izboljšali z vključitvijo podatkov daljinskega zaznavanja (radar in razelektritve).



Slika 7. Prostorska porazdelitev statistično značilnih trendov za pogostost toče in sodre v vegetacijskem obdobju (maj–september) na merilnih postajah, ki so v obdobju 1961–2004 neprekinjeno delovale vsaj 40 let. Poleg trendov je prikazana prostorska porazdelitev odstopanja povprečja zadnjega obdobja (1991–2004) od referenčnega obdobja 1961–1990.

Figure 7. Spatial distribution of statistically significant trends in hail frequency in the vegetational period (May–September). Trends were calculated for the observational points with homogeneous time series in the period 1961–2004. The deviation of mean hail frequency of the last 14-year period (1991–2004) from the mean hail frequency in the reference period (1961–1990) is indicated in the background.



Slika 8. Različno velika zrna toče so pobelila tla med močnim neurjem v Slovenskih Konjicah. (foto: J. Hlacer, avgust 2004)

Figure 8. Hail grains of different diameter made the ground white during a storm in Slovenske Konjice. (photo: J. Hlacer, August 2004)



Slika 9. Med nevihtami lahko zapihajo izjemno močni vetrovi, ki ruvajo drevesa. Eno takih neurij je bilo avgusta 2004 na Bledu. (foto: arhiv Sava, d. d., avgust 2004)

Figure 9. Storms may produce very strong winds which can uproot trees. Such a storm occurred at Bled in August 2004. (photo: archives of Sava, d. d., August 2004)



Slika 10. Toča je razbila tudi vetrobranska stekla avtomobilov. (foto: J. Hlacer, avgust 2004)

Figure 10. Car windshields were broken by hail. (photo: J. Hlacer, August 2004)

## Viri in literatura

1. Arhiv ARSO, Urad za meteorologijo.
2. Isaaks, E. H. and Srivastava, R. M., 1989. An Introduction to Applied Geostatistics, Oxford University Press, New York, 561 strani.
3. Petkovšek, Z., 1987. Topographic influences on thunderstorms in Slovenia. Zbornik del 2. mednarodnega simpozija o obrambi pred točo, Ljubljana, 166 strani.
4. Pruppacher, H. R., in Klett, J. D., 1978. Microphysics of Clouds and Precipitation. D. Reidel Publ. Comp., Dordrecht, xvi + 714 strani.
5. Rakovec, J. et al., 1988. Obramba pred točo v SR Sloveniji. Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Ljubljana, iv + 197 strani.
6. Rogers, R. R., 1976. A short course in cloud physics. Oxford University Press, Pergamon, 227 strani.